

## Beschreibung

## Strahlungsdetektor

- 5 Die Erfindung betrifft einen Strahlungsdetektor nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 beziehungsweise des Patentanspruchs 3.

10 Zur Detektion von Strahlung mit einer vorgegebenen spektralen Empfindlichkeitsverteilung, die ein Maximum bei einer vorgegebenen Wellenlänge  $\lambda_0$  aufweist, werden oftmals Strahlungsdetektoren mit einer speziell angepassten Filteranordnung, wie beispielsweise Interferenzfiltern oder Monochromatoren verwendet. Derartige Detektoren zeichnen sich durch eine sehr  
15 gute Anpassung an die vorgegebene spektrale Empfindlichkeitsverteilung aus, sind aber in ihrer Handhabung und Herstellung meist vergleichsweise aufwendig und kostenintensiv. Weiterhin haben sie oftmals einen hohen Platzbedarf, so dass sie für Anwendungen auf kleinem Raum nicht oder nur eingeschränkt be-  
20 nutzt werden können.

Ist die vorgegebene spektrale Empfindlichkeitsverteilung die des menschlichen Auges, so wird zur Detektion einfallender Strahlung mit dieser Empfindlichkeit häufig eine Silizium-Photodiode benutzt.  
25

Die Empfindlichkeit einer Photodiode hängt unter anderem von den Wellenlängen der einfallenden Strahlung ab. Für Wellenlängen, die größer als eine Grenzwellenlänge sind, ist die  
30 Empfindlichkeit zumindest nahe null, da für einfallende Strahlung in diesem Wellenlängenbereich die Energielücke des Funktionsmaterials der Diode - beispielsweise Si - größer als die Energie der einfallenden Strahlung ist und diese somit

nicht für die Erzeugung von Elektron-Loch-Paaren ausreicht. Andererseits nimmt die Empfindlichkeit im Bereich kleiner werdender Wellenlängen ab, da mit sinkender Wellenlänge die erzeugten Elektron-Loch-Paare beispielsweise wegen der Oberflächenrekombination vermehrt nicht mehr zum Photostrom beitragen. Im Zwischenbereich weist die Empfindlichkeit der Diode ein Maximum auf, das bei einer Silizium-Photodiode bei ungefähr 800 nm liegt.

- 10 Die Verwendung einer derartigen Silizium-Photodiode als Detektor mit der spektralen Empfindlichkeitsverteilung des helladaptierten menschlichen Auges, das ein Maximum der Empfindlichkeit bei etwa 555 nm aufweist, erfordert zusätzlichen Aufwand, da die Wellenlängen der Empfindlichkeitsmaxima stark  
15 voneinander abweichen und die beiden spektralen Empfindlichkeitsverteilungen deshalb vergleichsweise schlecht aneinander angepasst sind. Die Anpassung der Detektorempfindlichkeit an die Empfindlichkeitsverteilung des menschlichen Auges kann durch mehrere komplexe Filter verbessert werden. In der Summe  
20 resultiert daraus die Empfindlichkeit des menschlichen Auges.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen Strahlungsdetektor der eingangs genannten Art anzugeben, der möglichst einfach und kostengünstig herstellbar ist sowie eine gute Anpassung  
25 an die vorgegebene spektrale Empfindlichkeitsverteilung, insbesondere die des menschlichen Auges, aufweist.

Für eine gute Anpassung ist es als im Rahmen der Erfindung ausreichend anzusehen, dass die Detektorempfindlichkeit weitgehend der vorgegebenen Empfindlichkeit entspricht. Eine  
30 vollständige Übereinstimmung der Empfindlichkeiten ist nicht zwingend notwendig. Es soll vielmehr eine möglichst gute An-

passung an die vorgegebene Empfindlichkeit mit einem möglichst geringen Aufwand erreicht werden.

5 Diese Aufgabe wird durch einen Strahlungsdetektor mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 beziehungsweise des Patentanspruchs 3 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

10 Ein Strahlungsdetektor zur Detektion von Strahlung gemäß einer vorgegebenen spektralen Empfindlichkeitsverteilung, die ein Empfindlichkeitsmaximum bei einer vorgegebenen Wellenlänge  $\lambda_0$  aufweist, umfasst gemäß der vorliegenden Erfindung mindestens einen Halbleiterchip, welcher ein III-V-Halbleitermaterial enthält.

15 Mit Vorzug ist der Halbleiterchip bei der Erfindung ein LED-Chip, der als Strahlungsemitter zur Anwendung in einer herkömmlichen LED vorgesehen ist. Dies ermöglicht eine kostengünstige Verwirklichung des Strahlungsdetektors, da für eine  
20 Funktion als Strahlungsemitter vorgesehene LED-Chips als Halbleiterchips des Strahlungsdetektors verwendet werden können und der Aufwand zur Herstellung gezielt auf einen Strahlungsdetektor abgestimmter Halbleiterchips vermieden werden kann.

25 Das III-V-Halbleitermaterial umfasst bevorzugt das Funktionsmaterial des Halbleiterchips, insbesondere des LED-Chips, und/oder ist so gewählt, dass die Empfindlichkeit des Halbleiterchips in dem Bereich der vorgegebenen spektralen Empfindlichkeitsverteilung von null verschieden ist. Die Empfindlichkeit des Chips wird dabei durch die Stärke des Photostroms bestimmt, der von einer auf den Halbleiterchip einfallenden Strahlung durch Generation von Elektron-Loch-Paaren im  
30

Funktionsmaterial entsteht. Die Stromstärke des Photostroms ist von der einfallenden Strahlungsleistung und der Wellenlänge der einfallenden Strahlung abhängig und liegt typischerweise in der Größenordnung von nA. Deshalb durchläuft  
5 der Photostrom bevorzugt zum Zwecke besserer Signalverarbeitung oder -detektion einen Operationsverstärker.

Besonders bevorzugt besitzt der Halbleiterchip, insbesondere der LED-Chip, ein Maximum der Empfindlichkeit bei einer Wellenlänge  $\lambda_1$ , die sich möglichst wenig von der vorgegebenen  
10 Wellenlänge  $\lambda_0$  unterscheidet. Die Wellenlänge  $\lambda_0$  liegt vorteilhafterweise im Bereich der Emissionswellenlänge - beispielsweise der Peak- oder der Dominantwellenlänge - des LED-Chips, die dieser bei einem Betrieb als Strahlungsemitter  
15 aussenden würde.

Es sei allerdings angemerkt, dass die Wellenlänge  $\lambda_1$  nicht notwendigerweise einem Maximum der Empfindlichkeit des Halbleiterchips, insbesondere des LED-Chips, entsprechen muß. Es  
20 kann vielmehr genügen, dass sie bei  $\lambda_1$  einen ausreichend hohen Wert annimmt, wenn beispielsweise kein geeignetes Halbleitermaterial mit einem Empfindlichkeitsmaximum bei  $\lambda_1$ , das im obigen Sinne nahe genug bei  $\lambda_0$  liegt, vorhanden ist.

Bevorzugt ist die Differenz der Wellenlängen  $\lambda_0$  und  $\lambda_1$  dem Betrag nach kleiner als 50 nm, besonders bevorzugt kleiner als  
25 15 nm. Der Strahlungsdetektor kann somit bereits durch eine geeignete Auswahl des LED-Chips beziehungsweise des III-V-Halbleitermaterials an die vorgegebene Empfindlichkeit angepasst werden.  
30

Die vorgegebene spektrale Empfindlichkeitsverteilung wird häufig so angegeben, dass sie bei der Wellenlänge  $\lambda_0$  den Wert

1 beziehungsweise 100% annimmt. Die Empfindlichkeit des Halbleiterchips, insbesondere des LED-Chips, die vom Photostrom abhängt, wird häufig in Ampere pro Watt der einfallenden Strahlungsleistung angegeben.

5

Zum Vergleich der Detektorempfindlichkeit mit der vorgegebenen spektralen Empfindlichkeitsverteilung ist es deshalb zweckmäßig, die beiden Empfindlichkeiten so aneinander anzupassen, dass die vorgegebene Empfindlichkeit bei  $\lambda_0$  und die  
10 Empfindlichkeit des Detektors bei  $\lambda_1$  jeweils den Wert 100% annehmen (relative Empfindlichkeiten). Die vorliegende Beschreibung bezieht sich auf relative Empfindlichkeiten, sofern nichts anderes angegeben ist.

15 Bei der Erfindung ist es vorgesehen, dass zur Voranpassung der Detektorempfindlichkeit an die vorgegebene spektrale Empfindlichkeitsverteilung LED-Chips eingesetzt werden können, wie sie in handelsüblichen LEDs verwendet werden, die ein III-V-Halbleitermaterial als Funktionsmaterial besitzen. Der  
20 Aufwand und die damit verbundenen Kosten, die eine spezielle Herstellung eines neuen Halbleiterchips für einen Detektor mit sich bringt werden dadurch vorteilhaft vermieden.

Abhängig von der Wellenlänge  $\lambda_0$  können beispielsweise Halbleiterchips, insbesondere LED-Chips, herangezogen werden, die  
25  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ ,  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$  oder  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{As}$ , jeweils mit  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$  und  $x+y \leq 1$ , als III-V-Halbleitermaterial enthalten. III-V-Halbleitermaterialien zeichnen sich durch eine vereinfacht erreichbare vorteilhaft hohe interne Quanteneffizienz aus. Insbesondere gilt dies im sichtbaren Spektralbereich, in dem die Wellenlänge  $\lambda_0$  bevorzugt liegt. Für diesen Spektralbereich sind insbesondere Halbleitermaterialien aus  
30

den Materialsystemen  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$  oder  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$  besonders geeignet.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist dem  
5 Halbleiterchip, insbesondere dem LED-Chip, mindestens ein optischer Filter nachgeordnet, der die Anpassung der Detektorempfindlichkeit an die vorgegebene Empfindlichkeitsverteilung verbessert. Dies geschieht beispielsweise durch Absorption von Wellenlängen aus der einfallenden Strahlung, für die die  
10 Empfindlichkeit des Halbleiterchips, insbesondere des LED-Chips, höher als die der vorgegebenen spektralen Empfindlichkeitsverteilung ist.

Ein derartiger Filter absorbiert bevorzugt Wellenlängen, die  
15 größer als  $\lambda_0$  sind, und kann zumindest teilweise innerhalb, außerhalb und/oder auf einer den Halbleiterchip, insbesondere den LED-Chip, zumindest teilweise umgebenden Umhüllung angeordnet sein. Weiterhin kann auch das Umhüllungsmaterial selbst den optischen Filter bilden oder Teil dieses Filters  
20 sein.

Der optische Filter umfasst bevorzugt eine Mehrzahl von Filterpartikeln, die besonders bevorzugt in der Umhüllung angeordnet sind und beispielsweise organische Farbstoffe enthalten.  
25

Auch kann der optische Filter, beispielsweise in Form einer Filterfolie oder eines Filtermaterials auf der Umhüllung und/oder einer Filterstruktur außerhalb der Umhüllung vorge-  
30 sehen sein.

Beispiele für Umhüllungsmaterialien sind Reaktionsharze, bevorzugt Acryl- Epoxid- oder Silikonharze oder eine Mischung aus diesen Materialien.

5 Derartige Materialien werden in der Halbleitertechnik oftmals zur Umhüllung Halbleiterchips, insbesondere von LED-Chips, benutzt. Bei LEDs, die als herkömmliche Strahlungsemitter ausgebildet sind, ist das Umhüllungsmaterial der LED-Chips für die emittierte Strahlung weitgehend durchlässig. Im Rahmen der Erfindung jedoch kann ein Strahlungsdetektor eine  
10 Filteranordnung der oben genannten Art umfassen, die gerade Wellenlängen absorbiert, die vom LED-Chip in der Funktion als Strahlungsemitter erzeugt würden.

15 In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung enthält der Halbleiterchip, insbesondere der LED-Chip, mindestens eine Filterschicht. Diese Filterschicht ist bevorzugt auf der Oberfläche, insbesondere einer strahlungseintrittseitigen Oberfläche, des Chips angeordnet. Mit Vorteil absorbiert die  
20 Filterschicht Wellenlängen die kleiner sind als die Wellenlänge  $\lambda_0$  der vorgegebenen spektralen Empfindlichkeitsverteilung, wodurch die Anpassung der Detektorempfindlichkeit an die vorgegebene spektrale Empfindlichkeitsverteilung, insbesondere auf der kurzwelligen Seite, weitergehend verbessert  
25 wird.

Vorzugsweise ist die Filterschicht in der Form einer Passivierungs-, Deck- und/oder Schutzschicht ausgeführt, wie sie zum Beispiel bereits in handelsüblichen LED-Chips enthalten  
30 oder integriert ist. Die Filterschicht ist dabei so ausgeführt, dass einfallende Strahlung mit einer Wellenlänge die kleiner als  $\lambda_0$  ist derart absorbiert wird, dass die Anpassung der Detektorempfindlichkeit an die vorgegebene spektrale Emp-

findlichkeitsverteilung weiter verbessert wird. Derartige Schichten weisen in der Regel eine Energielücke auf, die größer als die Energielücke der aktiven Zone des LED-Chips ist. Diese Schichten sind für die von der LED erzeugten Strahlung weitgehend durchlässig und schützen das Funktionsmaterial beispielsweise vor nachteiligen äußeren Einflüssen.

Gegebenenfalls kann die Filterschicht monolithisch im Halbleiterchip, insbesondere im LED-Chip, integriert sein, indem die Filterschicht, beispielsweise epitaktisch auf einem Aufwuchssubstrat, zusammen mit einem Halbleiterkörper für den Halbleiterchip hergestellt wird.

Die Detektorempfindlichkeit ist dabei durch die Filterschicht bevorzugt so beeinflusst, dass bei einer beliebigen Wellenlänge kleiner als  $\lambda_0$  die Differenz der Detektorempfindlichkeit und der vorgegebenen Empfindlichkeit kleiner als 25%, besonders bevorzugt kleiner als 15% ist.

Mit besonderem Vorteil muss die Detektorempfindlichkeit für Wellenlängen kleiner als  $\lambda_0$  nicht mehr zusätzlich durch optische Filter, die außerhalb des Halbleiterchips, insbesondere LED-Chips, angeordnet sind, an die vorgegebene Empfindlichkeit angepasst werden. Die Anpassung kann vielmehr durch die im Halbleiterchip, insbesondere LED-Chip, enthaltene Filterschicht geschehen.

Die Filterung für Wellenlängen kleiner als  $\lambda_0$  kann auch durch einen optischen Filter der oben genannten Art erreicht werden, der außerhalb des Halbleiterchips, insbesondere LED-Chips, beispielsweise in der Umhüllung angeordnet ist. Ist eine Filterschicht der oben genannten Art aber bereits im Halbleiterchip, insbesondere im LED-Chip, vorgesehen, werden



der Herstellungsaufwand und die Herstellungskosten des Strahlungsdetektors vorteilhaft verringert.

In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist bei einer beliebigen Wellenlänge die Differenz der Detektorempfindlichkeit und der vorgegebenen Empfindlichkeit kleiner als 40%, bevorzugt kleiner als 25%. Besonders vorteilhaft ist dafür die Kombination einer Filterschicht auf dem LED-Chip oder in diesem integriert mit einem nachgeordneten optischen Filter, der oben genannten Art. Derartige Detektoren weisen verglichen mit anderen Detektoren einen geringen Platzbedarf und eine gute Anpassung an die vorgegebene spektrale Empfindlichkeitsverteilung auf.

Besonders bevorzugt ist bei einer, insbesondere beliebigen, Wellenlänge in einem Spektralbereich, der das Maximum  $\lambda_0$  der vorgegebenen Empfindlichkeit enthält die Differenz der Detektorempfindlichkeit und der vorgegebenen Empfindlichkeit kleiner als 15%.

Zur Anpassung der Empfindlichkeiten kann folgendermaßen vorgegangen werden. Der LED-Chip wird zuerst so ausgewählt, dass seine Empfindlichkeit gut an die vorgegebene Empfindlichkeit vorangepasst ist.

Diese Voranpassung kann entweder bezüglich der Flanken - den Wellenlängenbereichen größer oder kleiner  $\lambda_0$  - der vorgegebenen spektralen Empfindlichkeitsverteilung oder deren Maximum, beispielsweise durch die Auswahl eines geeigneten LED-Chips, geschehen.

Zur weiteren Anpassung dienen die Filter - dem LED-Chip nachgeordnete optische Filter oder Filterschichten -, die insbe-

sondere in dem Wellenlängenbereich absorbieren, in denen der LED-Chip eine höhere Empfindlichkeit als die vorgegebene Empfindlichkeitsverteilung besitzt.

5 Da LED-Chips häufig im Bereich ihrer Emissionswellenlänge die höchste Empfindlichkeit aufweisen, sei angemerkt, dass solche Filter bei einer herkömmlichen LED als Strahlungsemitter die Strahlungsausbeute verringern würden. Dies gilt insbesondere für optische Filter die in der Umhüllung des LED-Chips ange-  
10 ordnet sind. Eine derartige Umhüllung ist somit nicht mit der Umhüllung eines herkömmlichen LED-Chips als Strahlungsemitter vergleichbar.

Bevorzugt ist die Differenz der Werte der Detektorempfind-  
15 lichkeit und der vorgegebenen Empfindlichkeit bei einer vorgegebenen Wellenlänge für Empfindlichkeitswerte größer als 50 % kleiner als 25%, besonders bevorzugt kleiner als 15%.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung  
20 ist die vorgegebene spektrale Empfindlichkeitsverteilung die des menschlichen Auges mit einem Maximum bei der Wellenlänge  $\lambda_0'$ . Diese Wellenlänge liegt gewöhnlich für ein helladaptiertes Auge (Tagsehen) bei ungefähr 555 nm und für ein dunkeladaptiertes Auge (Nachtsehen) bei ungefähr 500 nm.

25

LED-Chips mit einer Emissionswellenlänge im sichtbaren, insbesondere im roten, Spektralbereich sind für diese vorgegebene Empfindlichkeit besonders geeignet, da sie trotz ihrer roten Emissionswellenlänge eine hohe Empfindlichkeit bei den  
30 oben genannten Wellenlängen aufweisen können. Ein für die Empfindlichkeitsverteilung des helladaptierten Auges vorteilhaftes Halbleitermaterial ist  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ , da ein auf diesem Material basierender LED-Chip je nach der genauen Zusammen-

setzung ein Maximum der Empfindlichkeit aufweisen kann, das im Bereich der oben angeführten Wellenlänge liegt. Durch optische Filter und Filterschichten der oben genannten Art, kann die Detektorempfindlichkeit weiter an die Augenempfindlichkeit angepasst werden.

Weiterhin kann der Strahlungsdetektor als oberflächenmontierbares Bauelement ausgebildet sein.

10 Erfindungsgemäße Strahlungsdetektoren werden vorzugsweise zur Steuerung und/oder Einflussnahme auf Vorrichtungen, deren Funktionsweise, Funktionszeitraum Wahrnehmung und/oder Anwendung mit der vorgegebenen spektralen Empfindlichkeitsverteilung in Verbindung steht verwendet.

15

Beispiele hierfür sind die Steuerung der Helligkeiten von Beleuchtungseinrichtung und Anzeigen, sowie des Ein- und/oder Ausschaltzeitpunkts von Beleuchtungseinrichtungen. Solche Beleuchtungseinrichtungen können als Innen- und Aussenraumbeleuchtungen für Wohnungen, Straßen oder Autos sowie die Hinterleuchtungseinrichtungen von Displays, wie Handydisplays, Autodisplays oder LCD-Bildschirmen realisiert sein. Für die letztgenannten Anwendungen ist ein geringer Platzbedarf des Strahlungsdetektors von besonderem Interesse.

25

Bei den genannten Verwendungen der Erfindung ist die vorgegebene Empfindlichkeit bevorzugt die des menschlichen Auges gegeben. Somit werden etwa die Helligkeiten der genannten Beleuchtungseinrichtungen können damit - durch Erhöhung oder Erniedrigung der Helligkeit - vorteilhaft entsprechend der Wahrnehmung durch das menschliche Auge gesteuert.

30

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Verwendung eines derartigen Strahlungsdetektors als Umgebungslichtsensor. Die vorgegebene Empfindlichkeit ist auch hier mit Vorzug durch die des menschlichen Auges gegeben.

5

Weitere Merkmale, Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus den Beschreibungen der folgenden Ausführungsbeispiele in Verbindung mit den folgenden Figuren.

10 Es zeigen

Figur 1a und Figur 1b eine schematische Schnittansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Strahlungsdetektors sowie eine schematische  
15 Schnittansicht eines Teiles eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Strahlungsdetektors;

Figur 2 schematisch die spektrale Verteilung der Detektor-empfindlichkeiten eines dritten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Strahlungsdetektors mit verschiedenen optischen Filtern und die vorgegebene spektrale Empfindlichkeitsverteilung des menschlichen helladaptierten Auges, die bezüglich  
20 der Empfindlichkeitswerte auf die Empfindlichkeit  
25 des Chips bezogen ist;

Gleichartige und gleich wirkende Elemente besitzen in den Figuren gleiche Bezugszeichen.

30

In der Figur 1a ist eine schematische Schnittansicht eines LED-Chips 1 dargestellt, wie er in einem erfindungsgemäßen Strahlungsdetektor verwendet werden kann. Der Chip 1 weist

eine Schicht aus einem Funktionsmaterial 2 auf, die beispielsweise das III-V-Halbleitermaterial InGaAlP enthält und von Confinementschichten begrenzt wird. Derartiges Halbleitermaterial zeichnet sich durch eine hohe Quanteneffizienz aus und wird häufig in Leuchtdioden, wie beispielsweise der Diode mit der Typenbezeichnung F 1998 A (Hersteller Osram Opto Semiconductors GmbH), benutzt. Diese LED hat eine Emissionswellenlänge im roten Spektralbereich von ungefähr 630 nm.

Der Funktionsschicht 2 ist eine Filterschicht 3 nachgeordnet, die einfallende Strahlung mit Wellenlängen, die kleiner sind als die der Energielücke der Funktionsschicht 2 entsprechenden Wellenlänge, absorbiert. Diese Filterschicht ist bei dem LED-Chip, wie er in der F 1998 A verwendet wird, bereits vorgesehen und hat in der dortigen LED in der Funktion als Strahlungsemitter beispielsweise die Funktion einer Schutz- und/oder Deckschicht, die schädlichen äußeren Einflüssen auf den LED-Chip vorbeugen kann.

Figur 1b zeigt eine schematische Schnittansicht eines Teiles eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Strahlungsdetektors. Der LED-Chip 1 aus Figur 1a ist in einer Umhüllung 4 angeordnet, die ein Reaktionsharz enthält. Dieses Reaktionsharz ist bevorzugt mit organischen Farbstoffpartikeln 5 versehen, die spektrale Teilbereiche der einfallenden Strahlung absorbieren können und somit als optischer Filter wirken. Weiterhin ist der LED-Chip mit einem Bondpad 6 und einer Elektrode 7 zur elektrischen Kontaktierung des LED-Chips versehen. Über den mit der Elektrode 7 verbundenen externen elektrischen Anschluss 8 und einen mit dem Bonddraht 9 verbundenen weiteren externen Anschluss, der in der Figur 1b nicht dargestellt ist, kann ein von einer einfallenden Strahlung in der Funktionsschicht erzeugter Photostrom, eventuell

über einen Operationsverstärker, gemessen werden. Die Abhängigkeit des Photostroms von der einfallenden Strahlungsleistung und der Wellenlänge der Strahlung bestimmt die Empfindlichkeit eines Strahlungsdetektors, der eine derartige Struktur mit dem LED-Chip 1, der die Filterschicht 3 aufweist, und der Umhüllung 4, in der die Farbstoffpartikel 5 angeordnet sind, umfasst.

Ein derartiger Strahlungsdetektor kann kostengünstig hergestellt werden, da LED-Chips Verwendung finden, wie sie in herkömmlichen als Strahlungsemitter ausgebildeten LEDs benutzt werden. Unterschiede zwischen diesen Detektoren und LEDs bestehen in der Beschaffenheit des Umhüllungsmaterials. Während bei LEDs das Umhüllungsmaterial für die erzeugte Strahlung durchlässig ist, kann es im Falle des Strahlungsdetektors mit dem LED-Chip erwünscht sein, dass die Umhüllung 4 mit den Filterpartikeln 5 gerade Wellenlängen aus dem Bereich, in dem der LED-Chip emittieren würde, absorbiert, um die Anpassung der Detektorempfindlichkeit an die vorgegebene Empfindlichkeit vorteilhaft zu verbessern.

Aus Figur 2 wird deutlich, wie die Detektorempfindlichkeit durch optische Filterung, beispielsweise in der Umhüllung des LED-Chips, an die spektrale Empfindlichkeitsverteilung des menschlichen Auges angepasst wird.

In der Figur 2 sind schematisch die spektralen Verteilungen der relativen Detektorempfindlichkeiten 10, 11 und 12 erfindungsgemäßer Strahlungsdetektoren mit verschiedenen optischen Filtern und die vorgegebene spektrale Empfindlichkeitsverteilung 14 des menschlichen helladaptierten Auges in Abhängigkeit von der Wellenlänge  $\lambda$  der einfallenden Strahlung dargestellt. Die Empfindlichkeit  $S$  ist dabei in Prozent angegeben.

Die Strahlungsdetektoren enthalten jeweils einen LED-Chip, wie er beispielsweise in der LED F 1998 A (Hersteller Osram Opto Semiconductors GmbH), verwendet wird. Der LED-Chip hat  
5 eine Emissionswellenlänge im roten Spektralbereich von ungefähr 630 nm und enthält InGaAlP als Funktionsmaterial. Die dargestellten relativen Empfindlichkeitsverteilungen 10, 11 und 12 der Detektoren sind für einen Lichteinfall von der Seite der Filterschicht 3 her angegeben, die, wie in Figur 1a  
10 oder 1b dargestellt, der Funktionsschicht 2 des LED-Chips 1 nachgeordnet ist. Alle Kurvenverläufe 10, 11 und 12 der Detektorempfindlichkeiten weisen ein Empfindlichkeitsmaximum 13 bei  $\lambda_1 \approx 560$  nm auf. Die diesen Kurven entsprechenden Detektoren unterscheiden sich in den dem LED-Chip 1 nachgeordneten  
15 optische Filteranordnungen. Der der Empfindlichkeitsverteilung 10 entsprechende Detektor ist ohne eine dem LED-Chip 1 nachgeordnete Filteranordnung ausgeführt, während bei den Verteilungen 11 und 12 eine 1 mm beziehungsweise 2 mm dicke filternde Umhüllung um den LED-Chip vorgesehen ist. Die filternde Umhüllung ist beispielsweise wie in Figur 1b ein Reak-  
20 tionsharz, das zum Beispiel grüne organische Farbstoffe aufweist.

Die relative spektrale Empfindlichkeitsverteilung eines hell-  
25 adaptierten menschlichen Auges ist bei  $\lambda_0 \approx 555$  nm maximal und in der Figur 2 durch eine gepunktete Kurve 14 dargestellt. Im Zweifel kann im Rahmen der Erfindung die Augenempfindlichkeitsverteilung nach der entsprechenden DIN herangezogen werden.

30

Weiterhin sind in der Figur 2 Wellenlängen  $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ ,  $\lambda_c$ ,  $\lambda_d$  und  $\lambda_e$  dargestellt, die verschiedene Bereiche der gezeigten Empfindlichkeitsverteilungen kennzeichnen.

Im Wellenlängenbereich zwischen ungefähr  $\lambda_a$  und  $\lambda_1$  stimmen die Empfindlichkeiten 10, 11 und 12 schon gut mit der Augenempfindlichkeit 14 überein, was durch die Filterschicht 3 erreicht wird, die einfallende Strahlung in diesem Wellenlängenbereich absorbieren kann und dadurch die Anpassung der Detektorempfindlichkeit 10, 11, 12 an die Augenempfindlichkeit 14 vorteilhaft beeinflusst.

Die Detektor- und die Augenempfindlichkeit weichen bezüglich ihrer Wellenlängen bei einem gemeinsamen Wert der Empfindlichkeit in diesem Wellenlängenbereich bevorzugt um weniger als 30 nm besonders bevorzugt weniger als 15 nm voneinander ab.

Weiterhin ist die Differenz der Empfindlichkeitswerte der Augen- und der Detektorempfindlichkeit bei einer vorgegebenen Wellenlänge in diesem Bereich kleiner als 15%.

Für  $\lambda < \lambda_a$  allerdings fallen die Detektorempfindlichkeiten 10, 11, 12 im Gegensatz zur Augenempfindlichkeit 14 deutlich stärker ab und sind bereits für Wellenlängen kleiner als ungefähr  $\lambda_b$  zumindest nahe null. Eine Ursache dafür kann die Oberflächenrekombination von Elektron-Loch-Paaren sein, da diese Paare nicht mehr zum Photostrom beitragen können. Auch für Wellenlängen größer als ungefähr  $\lambda_c$  fallen die Detektorempfindlichkeiten stärker als die Augenempfindlichkeit ab, da die Energie der einfallenden Strahlung für Wellenlängen größer als  $\lambda_c$  nicht mehr für die Generation von Elektron-Loch-Paaren ausreicht.

Die Kurve 10 zeigt neben dem Empfindlichkeitsmaximum 13 noch weitere lokale Maxima 151 und 161. Diese liegen im Bereich um



die Emissionswellenlänge des LED-Chips, die bei ungefähr 630 nm liegt. Wie der Kurve 10 zu entnehmen ist, weicht die Detektorempfindlichkeit für  $\lambda > \lambda_0$  in ihrem gesamten Verlauf noch relativ stark - die maximale Differenz der Empfindlichkeitswerte beträgt ungefähr 70% - von der Augenempfindlichkeit ab.

Für manche Anwendungen eines derartigen Strahlungsdetektors, insbesondere für Anwendungen die auf Wellenlängen kleiner als  $\lambda_0$  abzielen, kann diese Anpassung an die Augenempfindlichkeit bereits ausreichend sein. Dies ist besonders dann von Vorteil, wenn der Detektor für Anwendungen auf kleinem Raum vorgesehen ist und eine relativ dicke filternde Umhüllung die Bauteilgröße nachteilig erhöht.

15

Eine derartige Anpassung kann, wie oben ausgeführt, bereits durch die geeignete Auswahl des Halbleitermaterials, beziehungsweise des LED-Chips, erreicht werden.

Um die Anpassung der Detektorempfindlichkeit an die Augenempfindlichkeit zu verbessern, ist bei den den Kurven 11 und 12 entsprechenden Detektoren eine Umhüllung vorgesehen, die aus der einfallenden Strahlung Wellenlängen größer als 555 nm - insbesondere im roten Spektralbereich des lokalen Maximums 151 bei ungefähr 630 nm - absorbiert.

25

Die Dicke der Umhüllung bestimmt die in ihr absorbierte Strahlungsleistung der einfallenden Strahlung und damit den erzeugten Photostrom und die Detektorempfindlichkeit.

30

Verglichen mit der Detektorempfindlichkeit 10 wird die Anpassung an die Augenempfindlichkeit 14 durch eine 1 mm dicke grüne Umhüllung wie der dargestellten Detektorempfindlichkeit

11 entnommen werden kann, weiter deutlich verbessert. Das lokale Maximum 151 der Kurve 10 entspricht der Schulter 152 in der Kurve 11 und ist durch die Absorption in der Umhüllung stark abgeflacht. Das lokale Maximum 161 ist in Form des Maximums 162, das wegen der Absorption in der Umhüllung einen geringeren Empfindlichkeitswert als das lokale Maximum 161 besitzt, noch vorhanden.

Wird eine 2 mm dicke grüne Umhüllung vorgesehen, ist die Anpassung der entsprechenden Detektorempfindlichkeit 12 an die Augenempfindlichkeit 14 wegen der höheren absorbierten Strahlungsleistung noch weiter verbessert. Auch hier bleibt das lokale Maximum 162 in Form des Maximums 163 erhalten. Das ursprüngliche Maximum 151 ist bei 153 so stark abgeflacht, dass es nicht mehr erkennbar ist.

Bei einer vorgegebenen Wellenlänge ist hierbei die Differenz der entsprechenden Detektor- und Augenempfindlichkeitswerte kleiner als 25%.

Für Werte der Empfindlichkeit  $S$  - größer als ungefähr 50% - ist der Detektor sehr gut an die Augenempfindlichkeit angepasst und die Differenz der Detektor- und der Augenempfindlichkeitswerte kleiner als ungefähr 10%. Eine derartige Anpassung an die Augenempfindlichkeit kann für Anwendungen ausreichend sein, da dies gerade der Bereich ist, in dem das Auge am empfindlichsten ist.

Zwischen ungefähr  $\lambda_e$  und  $\lambda_c$  weicht die Detektorempfindlichkeit 12 noch relativ stark von der Augenempfindlichkeit 14 ab. Würde im Strahlungsdetektor eine weitere Filteranordnung vorgesehen, die im Bereich der dem lokalen Maximum 163, 162 oder 161 entsprechenden Wellenlänge absorbiert, kann die An-

passung an die Augenempfindlichkeit 13 in diesem Bereich gegebenenfalls noch weiter verbessert werden.

Die Erfindung ist nicht als auf die Augenempfindlichkeit beschränkt, sondern auf alle vorgegebenen spektralen Empfindlichkeiten anwendbar anzusehen, die ein Maximum bei einer Wellenlänge  $\lambda_0$  aufweisen, und an die die Empfindlichkeit eines Strahlungsdetektors, welcher einen LED-Chip enthält angepasst werden kann. Sollte die Empfindlichkeit des LED-Chips in manchen Wellenlängenbereichen kleiner als die vorgegebene Empfindlichkeit sein, so können insbesondere auch optische Verstärkeranordnungen vorgesehen sein, die sich vorteilhaft auf die Anpassung der Detektorempfindlichkeit an die vorgegebene Empfindlichkeit auswirken.

15

Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 103 45 410.1, deren gesamter Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug explizit in die vorliegende Patentanmeldung aufgenommen wird.

20

Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

## Patentansprüche

1. Strahlungsdetektor zur Detektion von Strahlung gemäß einer vorgegebenen spektralen Empfindlichkeitsverteilung (14), die ein Empfindlichkeitsmaximum bei einer vorgegebenen Wellenlänge  $\lambda_0$  aufweist, wobei der Strahlungsdetektor mindestens einen Halbleiterchip (1) und mindestens einen dem Halbleiterchip (1) nachgeordneten optischen Filter umfasst, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- 5 - der Halbleiterchip mindestens ein III-V-Halbleitermaterial enthält;
- der optische Filter Strahlung mit einer Wellenlänge absorbiert, die größer als die Wellenlänge  $\lambda_0$  des Empfindlichkeitsmaximums ist.
- 15 2. Strahlungsdetektor nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die vorgegebene spektrale Empfindlichkeitsverteilung (14) die des menschlichen Auges ist.
- 20 3. Strahlungsdetektor, der mindestens einen Halbleiterchip (1) umfasst, zur Detektion von Strahlung gemäß der spektralen Empfindlichkeitsverteilung (14) des menschlichen Auges, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- 25 der Halbleiterchip (1) mindestens ein III-V-Halbleitermaterial enthält.
4. Strahlungsdetektor nach Anspruch 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- 30 der Strahlungsdetektor mindestens einen dem Halbleiterchip (1) nachgeordneten optischen Filter umfasst und der optische Filter Strahlung mit einer Wellenlänge absorbiert die größer

als die Wellenlänge  $\lambda_0'$  des Empfindlichkeitsmaximums des menschlichen Auges ist.

5 5. Strahlungsdetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
der Halbleiterchip ein LED-Chip ist.

10 6. Strahlungsdetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
die Empfindlichkeit des Halbleiterchips (1) mindestens ein Maximum (13) bei einer Wellenlänge  $\lambda_1$  aufweist, wobei sich diese Wellenlänge um nicht mehr als 50 nm, bevorzugt nicht  
15 mehr als 15 nm, von der Wellenlänge  $\lambda_0$  beziehungsweise der Wellenlänge  $\lambda_0'$  abweicht.

7. Strahlungsdetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
der Detektor eine Umhüllung (4) aufweist, die den Halbleiterchip (1) zumindest teilweise umgibt.

8. Strahlungsdetektor nach Anspruch 7,

25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
die Umhüllung (4) ein Harz, vorzugsweise ein Reaktionsharz, enthält.

9. Strahlungsdetektor nach Anspruch 7 oder 8,

30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
der optische Filter zumindest teilweise innerhalb, ausserhalb und/oder auf der Umhüllung (4) angeordnet ist und/oder das Umhüllungsmaterial selbst den Filter bildet.

10. Strahlungsdetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

5 der optische Filter eine Mehrzahl von Filterpartikeln (5) umfasst.

11. Strahlungsdetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

der Halbleiterchip (1) eine Filterschicht (3) aufweist.

12. Strahlungsdetektor nach Anspruch 11,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

15 die Filterschicht (3) Wellenlängen absorbiert, die kleiner als  $\lambda_0$  beziehungsweise  $\lambda_0'$  sind.

13. Strahlungsdetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

der Strahlungsdetektor eine Detektorempfindlichkeit (12) aufweist, wobei bei einer beliebigen Wellenlänge die Differenz der entsprechenden Werte der Detektorempfindlichkeit (12) und der vorgegebenen Empfindlichkeit (14) kleiner als 40%, bevorzugt kleiner als 25%, ist.

14. Strahlungsdetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

30 das III-V-Halbleitermaterial  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ ,  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$  oder  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{As}$ , jeweils mit  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$  und  $x+y \leq 1$ , ist.

15. Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 5 bis 14,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
die Emissionswellenlänge des LED-Chips (1) im roten Spektral-  
bereich liegt.

5 16. Verwendung eines Strahlungsdetektors nach einem der vor-  
hergehenden Ansprüche

als

Umgebungslichtsensor.

10 17. Verwendung eines Strahlungsdetektors nach einem der vor-  
hergehenden Ansprüche

zur

Steuerung einer Einflussnahme auf Vorrichtungen, deren Funk-  
tionsweise, Funktionszeitraum, Wahrnehmung und/oder Anwendung

15 mit der vorgegebenen spektralen Empfindlichkeitsverteilung in  
Verbindung steht.

18. Verwendung eines Strahlungsdetektors nach einem der vor-  
hergehenden Ansprüche

20 zur

Steuerung der Helligkeit von Beleuchtungseinrichtungen.

19. Verwendung eines Strahlungsdetektors nach einem der vor-  
hergehenden Ansprüche

25 zur

Steuerung der Helligkeit der Hinterleuchtung von LCD-  
Bildschirmen.

20. Verwendung eines Strahlungsdetektors nach einem der vor-  
30 hergehenden Ansprüche

zur

Steuerung der Helligkeit von Anzeigen.

21. Verwendung eines Strahlungsdetektors nach einem der vorhergehenden Ansprüche

zur

Steuerung des Ein- oder Ausschaltzeitpunkts von Beleuchtungs-

5 einrichtungen.



1/2

FIG 1A

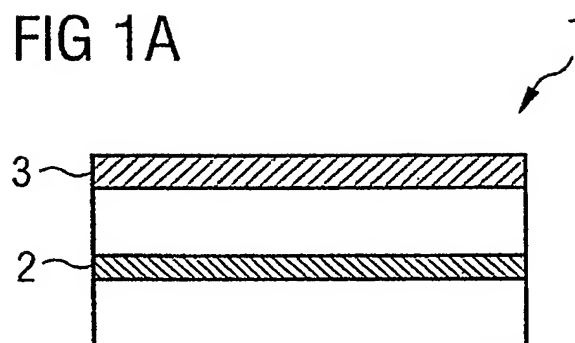
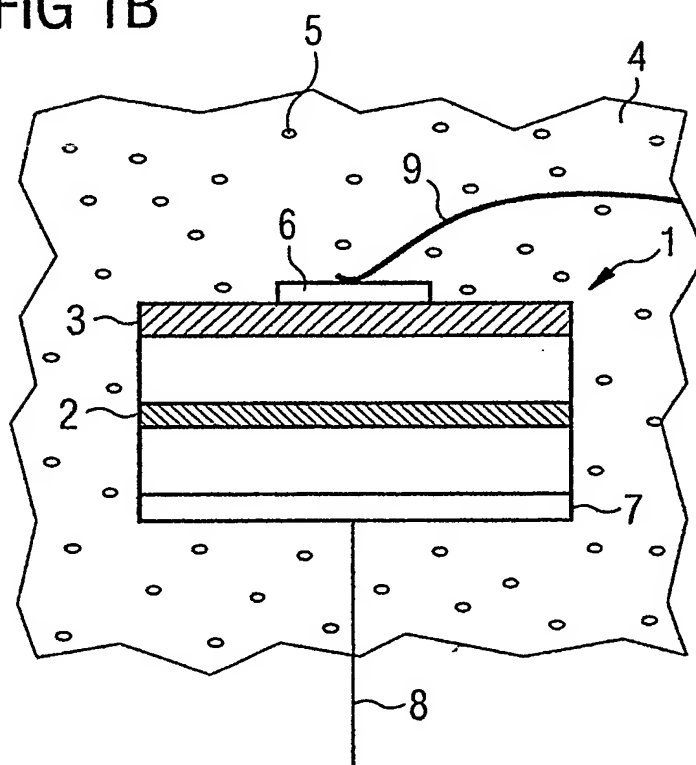


FIG 1B



2/2

